

第4期中長期目標期間中の研究開発に 対するこれまでの成果（概要）

令和7年10月6日

日本原子力研究開発機構
核燃料サイクル工学研究所 BE資源・処分システム開発部
東濃地科学センター
幌延深地層研究センター

地層処分研究開発関連の関連拠点



瑞浪超深地層研究所
(岐阜県瑞浪市)
令和元年度をもって研究開発を終了し、地下坑道の埋戻しが完了。



幌延深地層研究センター

● 深地層の研究施設計画

工学技術の
信頼性向上

安全評価手法
の高度化



(イメージ図)
深度500mの調査坑道の掘削が完了
(R7.9.4)

東濃地科学センター

- 深地層の研究施設計画
- 地質環境の長期安定性に関する研究

深地層の科学的研究

核燃料サイクル工学研究所

(茨城県東海村)



地層処分基盤研究施設(エントリー)



地層処分放射化学研究施設(クオリティ)



- 高レベル放射性廃棄物等の地層処分システムに関する研究開発
- 代替処分オプションの研究開発

工学技術の
信頼性向上

安全評価手法
の高度化

中長期目標期間における研究開発スケジュール

	細目	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発	1) 深地層の研究施設計画 ・幌延 ・瑞浪							
		実際の地質環境における人工バリアの適用性確認						
		処分概念オプションの実証						
		地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証						
		地下水の環境モニタリング調査						
		研究所周辺的环境影響調査						
		地上施設の基礎コンクリート等の撤去・用地の整地						
	2) 地質環境の長期安定性に関する研究	調査技術の開発・体系化						
		長期予測・影響評価モデルの開発						
		年代測定技術の開発・高度化						
	3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分システムに関する研究開発	処分システムに関する工学技術の信頼性向上						
		安全評価手法の高度化						
	4) 代替処分オプションの研究開発	使用済燃料直接処分に関する閉じ込め性能に関する評価検討等の拡充・整理						
		その他代替処分オプション（超深孔処分）の成立性に係る技術や情報の調査・整理						
	「総合知」の発言を通じた社会的価値の創出、研究開発成果の発信と国民との相互理解の促進	<ul style="list-style-type: none"> 各種データベースへのデータの追加と公開 CoolRep（ウェブサイトを活用した研究成果の情報発信）の更新 深地層の研究施設の見学・体験などを通じた国民との相互理解の促進 						

1) 深地層の研究施設計画（幌延）

中長期計画
（令和4年度～令和10年度）

「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づく計画を進め、技術基盤を整備

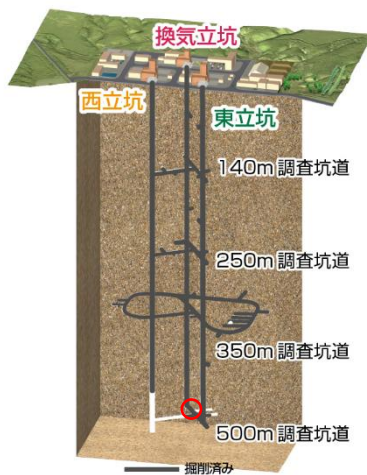


活動の成果（令和4年度～令和6年度）

- 令和6年度までに取りまとめる6つの課題について着実に技術基盤を整備
- 「坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」について、目標や計画を具体化
- 地下施設整備について、東立坑・換気立坑の500mまでの掘削を完了するとともに、500m調査坑道について掘削を進めた。
- 幌延国際プロジェクトを計画通り進めるとともに、フェーズ1（令和6年度まで）の成果をレポートとして取りまとめた。

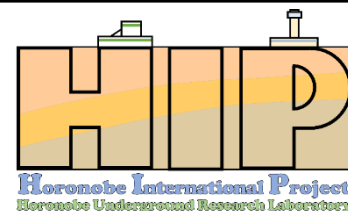


東連絡坑道の貫通
（R7.2.18）



【地下施設イメージ図】
（令和7年3月19日現在）

○：写真撮影場所



幌延での合同タスク会合（2024年6月）

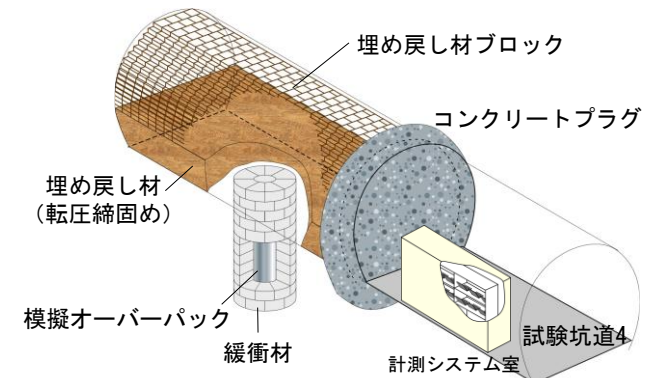
1) 深地層の研究施設計画（幌延）

○実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

・人工バリア性能確認試験

緩衝材に地下水を浸潤させた場合のデータ（浸潤時・減熱時）を取得し、熱-水-応力-化学連成評価手法を整備。

- 廃棄体からの発熱が収まった状態を模擬した条件でのデータ取得を継続。
- 国際共同研究にて室内試験および原位置試験の各機関の解析結果を比較検証し、解析コードの有効性、さらなる検証の必要性を確認。



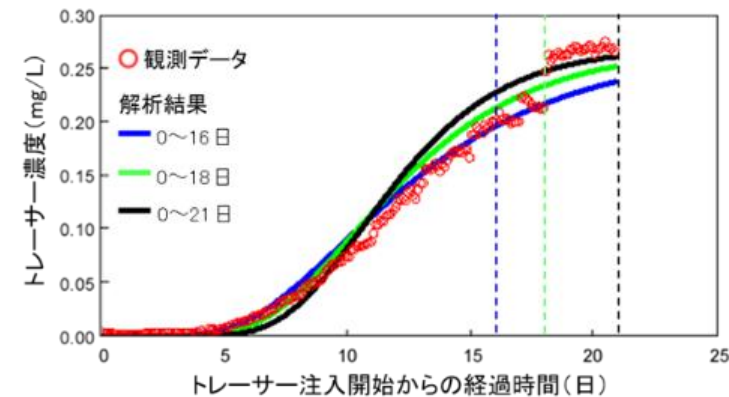
人工バリア性能確認試験の概念図

・堆積岩における物質移行現象の評価手法の整備

掘削損傷領域でのトレーサー試験等を行い、ブロックスケール（数m～100m規模）の評価手法を整備。

- 坑道周辺の掘削損傷領域とブロックスケールの物質移行を評価するためのデータ取得やモデル化手法を提示するとともに、有機物等の関係因子の影響の把握により、総合的な物質移行評価手法を構築。

所期の目標を達成



ブロックスケールを対象としたトレーサー試験結果の再現解析

1) 深地層の研究施設計画（幌延）

○処分概念オプションの実証

- ・ **操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証**
緩衝材や埋め戻し材の状態に応じた除去技術オプション、回収容易性を考慮した概念オプション、品質評価手法を整備。閉鎖技術（プラグ等の埋め戻し方法）を実証。

➤ 搬送定置・回収技術として、状態に応じた除去技術オプションの整理、回収可能性を維持した場合の安全性への影響に関する品質評価手法の提示、埋め戻しや閉鎖システムの性能を担保する設計・施工技術の選択肢の整理。

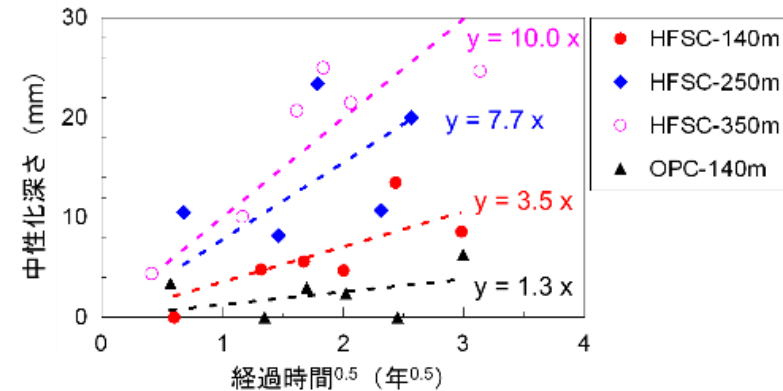
所期の目標を達成

- ・ **高温（100℃以上）等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験**

100℃超になった際に人工バリアとその周辺岩盤において発生する現象を整理し、上限温度設定の考え方を提示。

➤ 短期的に100℃を超えた場合に緩衝材に生じる変質や人工バリアおよびその周辺に生じる現象を把握し、上限温度設定の考え方を整備。

所期の目標を達成



坑道壁面から採取した吹付けコンクリート試料の中性化深さと経過時間



ヒーター接触部における緩衝材ブロックのひび割れの確認

1) 深地層の研究施設計画（幌延）

○処分概念オプションの実証

・坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化

これまで研究してきた各要素技術を集約しつつ、一定のルール・基準に基づいた手法の整理（体系化）に向けて4つの課題を設定し、着手。

①坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化

- 水理・物質移行特性、人工バリアや処分坑道も考慮した物質移行解析
⇒閉じ込め性能の評価手法を体系的に整理

②先行ボーリングによる地質環境特性調査ならびに工学的対策を考慮した、地下施設および人工バリアの設計評価技術の体系化

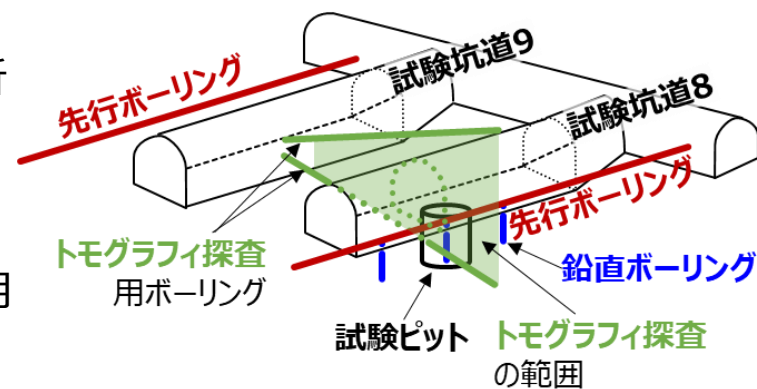
- 深度500mでの原位置試験、湧水抑制対策、ピット掘削等技術の適用
⇒ピットの配置位置や坑道の間隔を設計するために必要な情報とその情報の取得方法を整理
- 深度350mでの実規模スケールの埋め戻しと止水プラグの施工試験
⇒埋め戻し材と止水プラグの設計から施工に至る一連技術の確認

③多連接坑道を考慮した湧水等抑制対策技術および処分孔支保技術の整備、緩衝材流出・侵入現象評価手法および抑制対策技術の整備

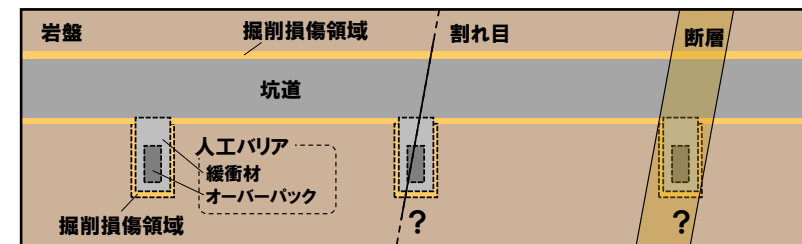
- 原位置調査で得られたデータに基づく評価手法
⇒坑道やピットの施工の際の湧水抑制対策や支保技術の整備
緩衝材流出現象等を評価・抑制する技術の整備

④廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要なとなる情報の整理

- ピット周辺割れ目の湧水量や掘削損傷領域などの調査・評価手法
⇒実際に幌延で適用した調査・評価技術を体系的に整理



500m試験坑道8、9における
原位置調査レイアウト案



廃棄体定置や坑道・ピット配置の
考え方の概念図

1) 深地層の研究施設計画（幌延）

○地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

・地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

地殻変動が透水性に与える影響を推測するための手法を整備

- 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握、ダクティリティインデックス（DI）を用いた透水性評価の信頼性向上・隆起侵食の影響評価手法の整備、水圧擾乱試験による断層の力学的な安定性評価手法の整備を完了。

所期の目標を達成

・地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化

化石海水の分布領域の調査・評価技術の高度化。

地下水の滞留時間、塩濃度分布を推測するための水理解析、物質移行解析。

- 流動域/低流動域の三次元分布の推定手法、地下水年代等による安定な水理場・化学環境の確認手法等を組み合わせ、地下水の流れが非常に遅い領域の調査・モデル化技術を実証。

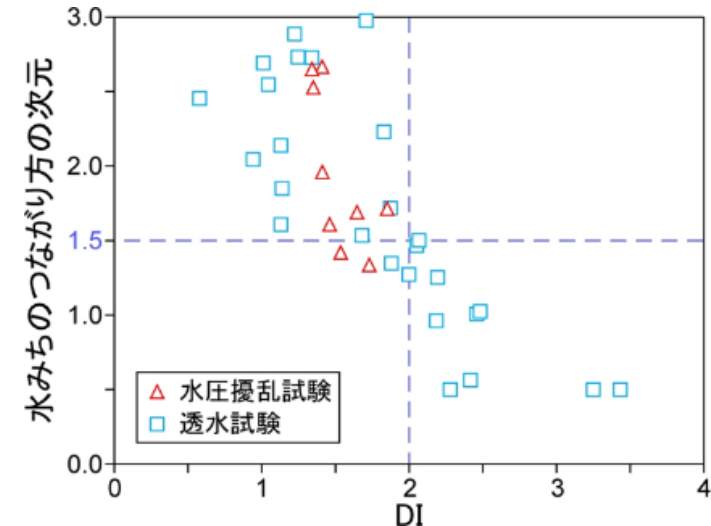
所期の目標を達成

・地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

掘削損傷領域の透水性を予測する既存モデルの再検証。坑道埋め戻し後の掘削損傷領域の透水性を予測するモデルの構築。

- 緩衝材や埋め戻し材が掘削損傷領域の力学的・水理学的緩衝能力に与える影響の解析手法を構築。

所期の目標を達成



水圧擾乱および透水試験で認められた水みちのつながり方の次元とDIの関係

1) 深地層の研究施設計画（瑞浪）

中長期計画（令和4年度～令和10年度）

「令和2年度以降の超深地層研究所計画」に基づき、環境モニタリング等を実施

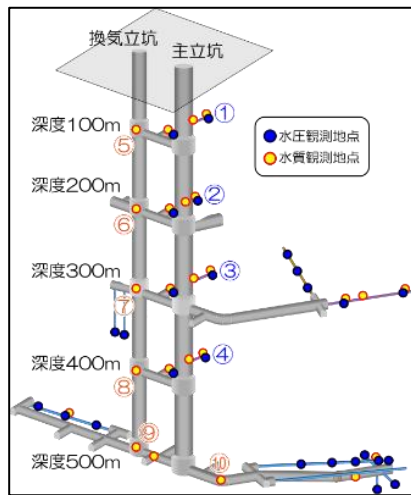


活動の成果（令和4年度～令和6年度）

地下水の環境モニタリング調査および研究所周辺の環境影響調査を着実に継続・実施し、水質の大きな変化および環境への影響がないことを確認

○地下水の環境モニタリング調査

- 坑道の埋め戻し後の地下水の水圧観測及び水質観測
 - 研究坑道周辺では地下水位が埋め戻しに伴って回復する傾向。
 - 地下水の水質には埋め戻しの前後で大きな変化は認められない。



埋め戻し後の水圧及び水質観測点

○研究所周辺の環境影響調査

- 河川水等の水質分析及び騒音・振動測定等を継続
 - 問題となる影響を与えていないことを継続的に確認。

○ボーリング孔の閉塞

- 観測を終了したボーリング孔の閉塞の実施
 - 令和4年度閉塞完了：DH-10
 - 令和5年度閉塞完了：DH-7、DH-11、MIU-1
 - 令和6年度閉塞完了：DH-13、DH-15

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
DH-2					■	■
DH-15			■	■		
MIU-3			■	■		
MIU-4			■	■		
AN-1			■	■		
MSB-1					■	■
MSB-2					■	■
MSB-3					■	■
MSB-4					■	■
MIZ-1			■	■	■	■
05ME06					■	■

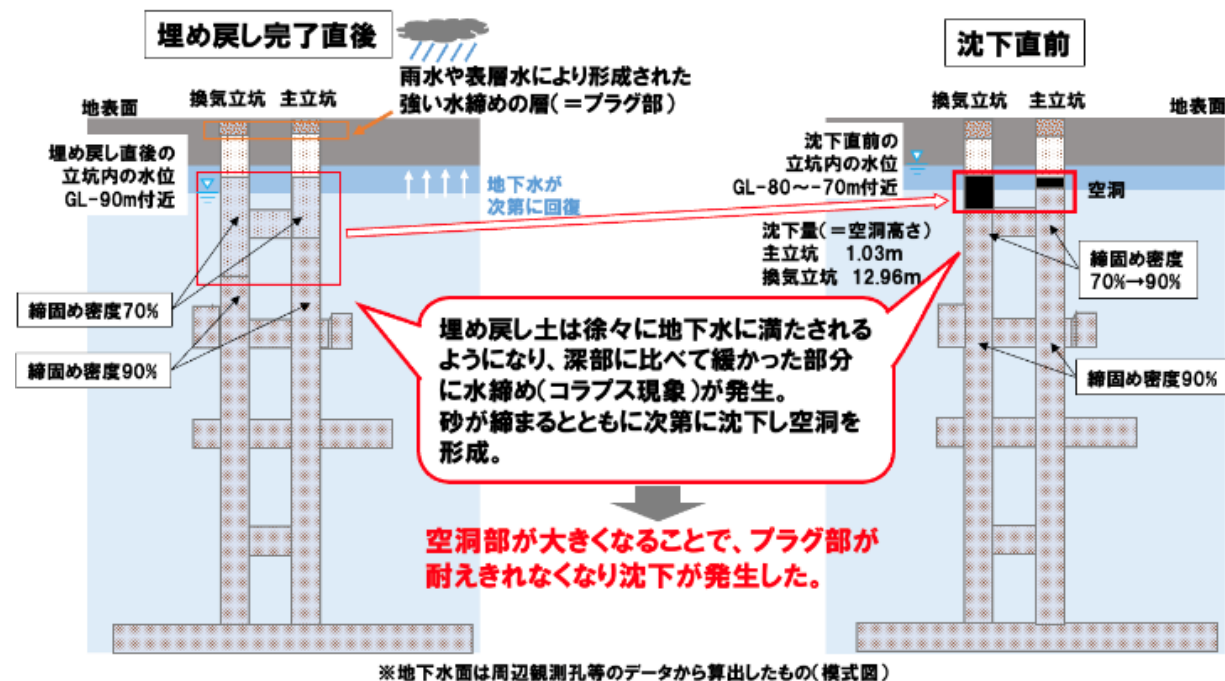
■：連続観測
■■：ボーリング孔閉塞

地上の観測点におけるモニタリング実施期間（予定）

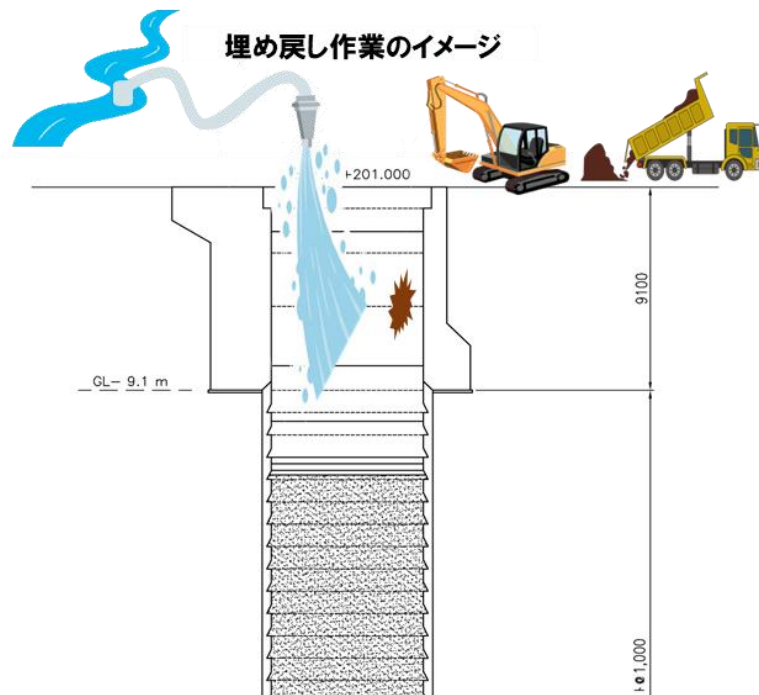
1) 深地層の研究施設計画（瑞浪）

○立坑埋め戻し面の沈下について

- 令和5年11月 埋め戻し面の沈下を確認（総沈下量：主立坑12.9m、換気立坑27.7m）
- 令和5年11月及び6年2月に2回の安全確認委員会を開催
沈下の状況、原因の推定及び今後の方針等について説明
- 令和6年 2月～3月 沈下部の再埋め戻しを実施（水締め工法を採用）
 - 再埋め戻し後も継続して埋め戻し面の状況の確認
 - 数十cmの沈下を確認（令和7年9月時点）



沈下原因の推定模式図：浅部でコラプス現象が発生



水締め工法による埋め戻し作業

2) 地質環境の長期安定性に関する研究

中長期計画（令和4年度～令和10年度）

自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する技術を、地球年代学に係る最先端の施設・設備も活用しつつ整備



活動の成果（令和4年度～令和6年度）

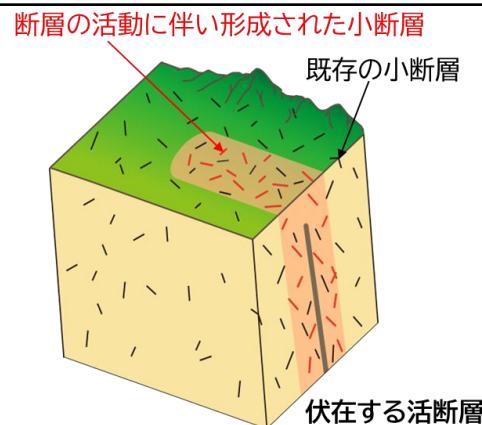
- 地表地形では特定が困難な地下に伏在する活構造を検出するための信頼性の高い手法の提示等の開発
- 断層の活動性や隆起・侵食速度の評価に必要な年代測定技術の開発・整備

○調査技術の開発・体系化

• 断層の活動性に係る調査技術

地質学的手法（小断層解析）によって推定される小断層形成時の応力場に基づき、伏在する活断層の周辺で、その運動に伴って形成されたと考えられる小断層が多く分布する範囲を特定。

➤地表地形では特定が困難な地下に伏在する活断層を検出する手法として有効である可能性を提示。

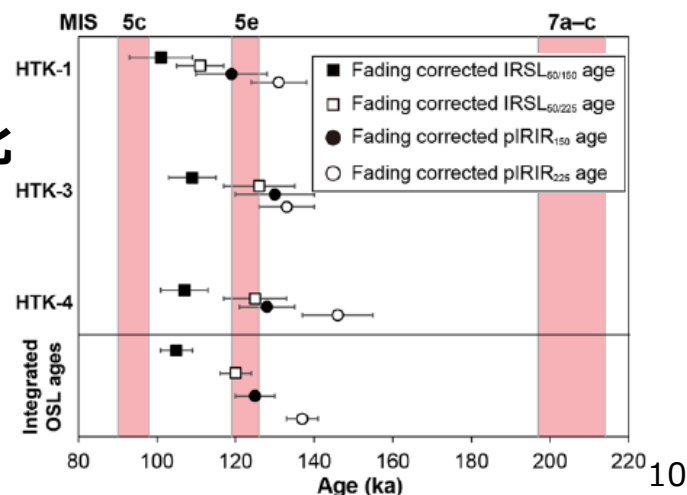


○長期予測・影響評価モデルの開発

• 地形・地質学的情報に基づく隆起・侵食の調査・評価技術の高度化

段丘編年に関する従来手法に代わる手法として、光ルミネッセンス（OSL）法と宇宙線生成核種（TCN）法の適用性を、MIS 5e（約12万年前）まで確認。

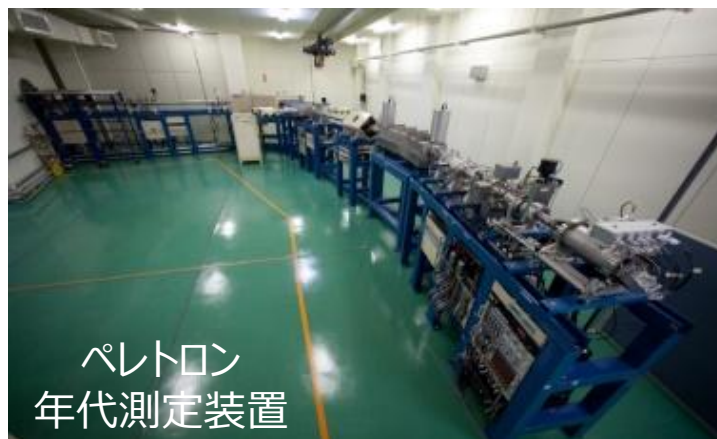
➤隆起・侵食速度推定のための、従来手法（火山灰層序、放射性炭素等）では年代決定が困難な堆積物に対する新たな手法として有効であることを提示。



2) 地質環境の長期安定性に関する研究

○年代測定技術の開発

- 地質環境の長期安定性評価における共通基盤技術として、幅広い年代域 ($10^4 \sim 10^7$ 年) やさまざまな自然現象・試料に対応可能な年代測定手法の開発・整備を継続。
- 着実に手法の整備を進め、断層の活動性、隆起・侵食速度の把握等の調査・評価技術開発に貢献。
- 超小型かつ安価で管理区域の設定が不要な加速器質量分析装置の開発を進め、「結晶表面ストリッパー法」という独自技術の実証に世界で初めて成功。



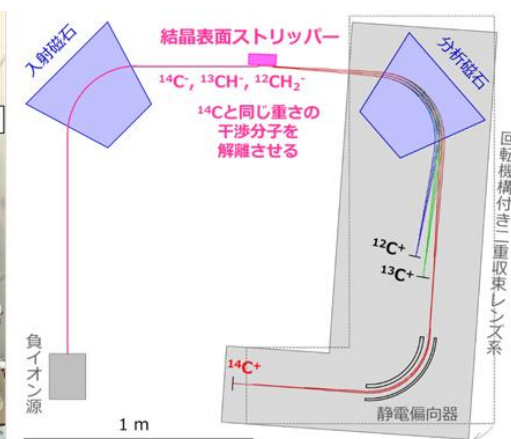
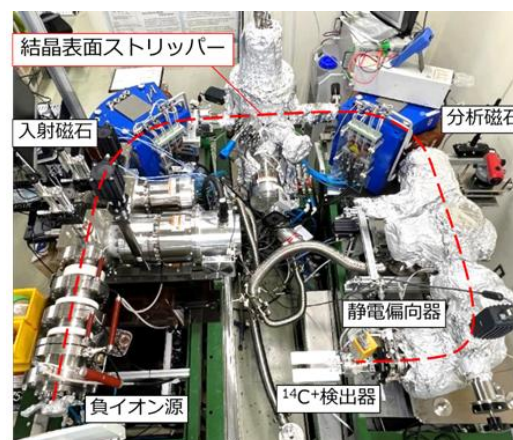
炭素-14, ベリリウム-10, アルミニウム-26,
ヨウ素-129年代測定



ウラン-鉛年代測定



光ルミネッセンス年代測定



開発を進めている超小型加速器質量分析装置

3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分システムに関する研究開発

中長期計画（令和4年度～令和10年度） 活動の成果（令和4年度～令和6年度）

高レベル放射性廃棄物の地層処分に
係る処分システム構築・評価解析技
術の先端化・体系化



・ 室内試験と原位置試験を組み合わせた岩石中の物質
移行現象の理解、人工バリア挙動の理解及びデータ
ベースの整備・拡充

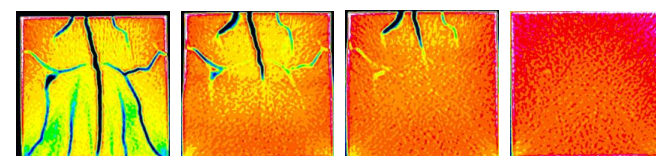
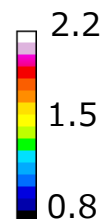
○地層処分システムに関する工学技術の開発

・ **100℃超を含む温度条件下における緩衝材特性の評価**
100℃超の高温条件下で発生した乾燥収縮によるクラック
が、再冠水時に閉塞する状況など、シナリオ構築に資する
ための知見を取得。下部から浸潤が進むと、浸潤過程に対
応するようにクラックは閉塞し、試料全体が飽和し、均一化。

・炭素鋼-ベントナイト相互作用

ベントナイト中における炭素鋼の超長期腐食試験試料
（21年間浸漬）を用いた炭素鋼の腐食量評価と炭素
鋼／ベントナイト界面の観察・分析等を実施。炭素鋼の
長期腐食速度と腐食生成物によるベントナイトの変質評
価に資する知見を取得。

湿潤密度
(Mg/m^3)

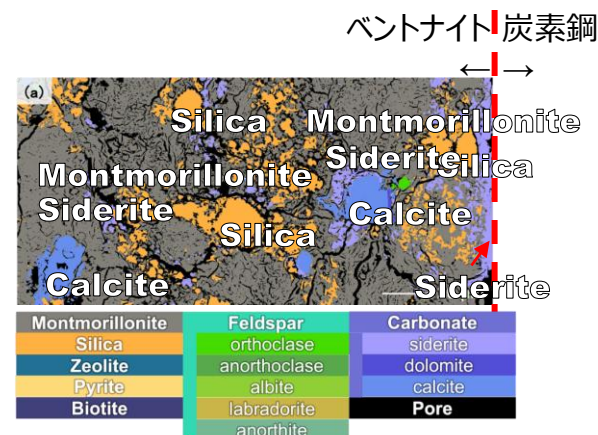


0h 96h 216h 2040h

初期含水比23% 140℃熱履歴14ヶ月

幌延地下水相当NaCl溶液

模擬地下水湿潤過程の緩衝材のX線CT画像



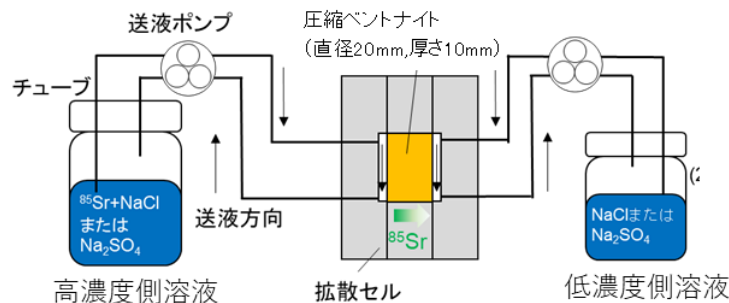
超長期腐食試験試料の鉱物マッピング例
（80℃人工海水、21年間）

3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分システムに関する研究開発

○地層処分システムに関する性能評価研究

・緩衝材中の核種移行モデル・コロイド透過挙動の評価

複数化学種共存下での拡散評価手法を構築するとともに、緩衝材のカルシウム型化を考慮したコロイドが透過しない条件を提示。



	Na型 Mont.	Ca型 Mont.	クニゲル
0.8	●5.7 ●7.2	●5.7	●5.7
1.2	●5.7 ●8.8	●5.7 ●8.8	●5.7
1.6	▲5.7	▲5.7	●5.7

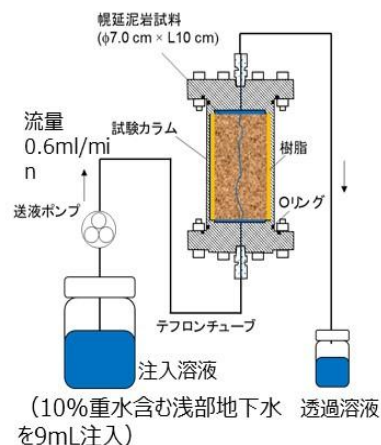
乾燥密度 (g/cm³)
●透過あり ▲透過せず
表内の数値は、コロイドの大きさを示す。単位: nm

複数化学種共存下での拡散試験

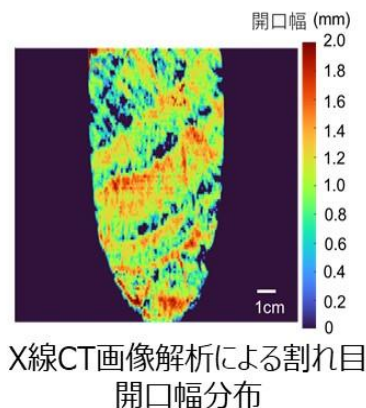
緩衝材のコロイド透過試験の結果

・岩石中の核種移行モデルの開発

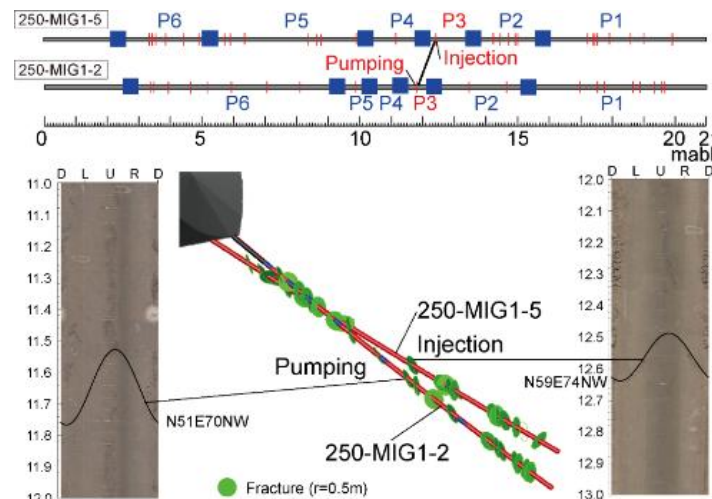
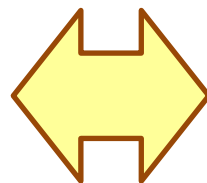
幌延泥岩を対象に室内試験を実施し、原位置試験結果とを組み合わせることで物質移行現象の理解とモデル化を実施。



トレーサー通液試験装置の概要



X線CT画像解析による割れ目開口幅分布



幌延原位置トレーサー試験

室内トレーサ試験室内試験

3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分システムに関する研究開発

○オーバーパックデータベースの更新

- 過年度に取得した、幅広い地質環境条件とその時間的な変遷（過渡期～閉鎖後長期）を考慮した広範な条件における基本特性データを登録し、データベースを更新。

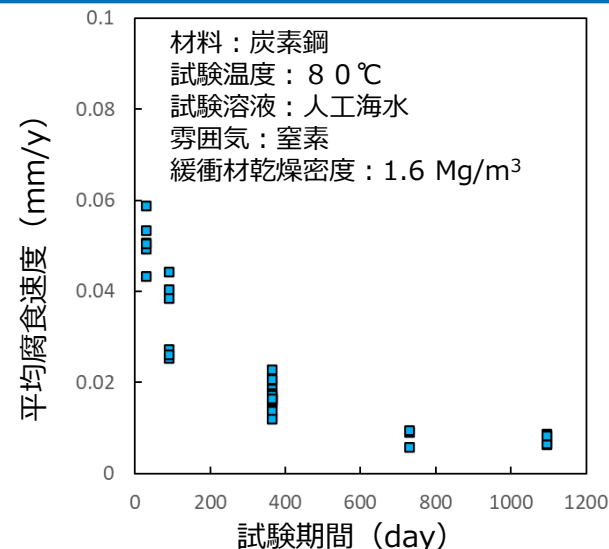
【令和7年3月末時点整備・更新状況】

登録データ数2073件

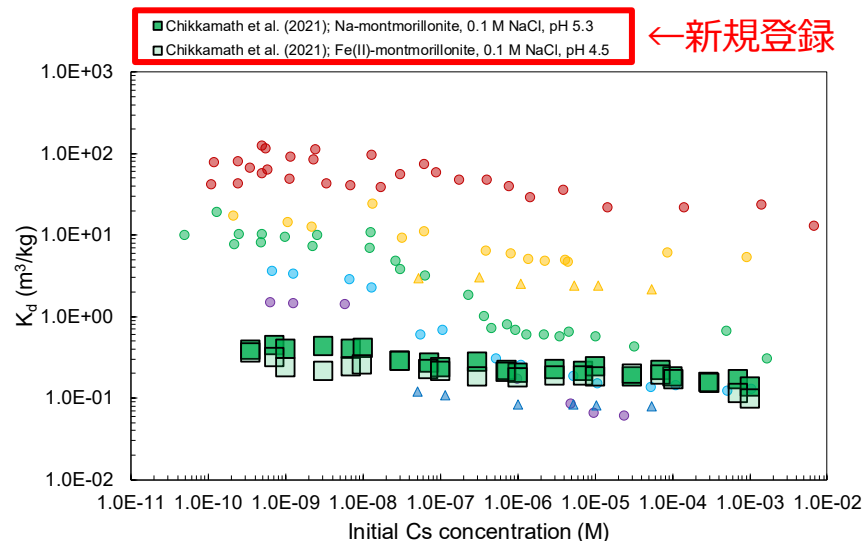
(炭素鋼:1691 銅:349 チタン:33)

○収着データベースの更新

- 収着データベース（JAEA-SDB）の更新に向けて、72の文献から7,538点の K_d データとその信頼度情報を追加するとともに、JAEA報告書を作成し、投稿（公開は令和7年度の見込み）。



平均腐食速度の経時変化



K_d データ信頼度評価の例（Cs対粘土鉱物）

4) 代替処分オプションの研究開発

中長期計画（令和4年度～令和10年度） 活動の成果（令和4年度～令和6年度）

海外の最新の技術動向調査と代替処分オプションに特徴的な現象に着目した研究を実施



- 直接処分の工学技術、安全評価の技術的基盤の整備・拡充
- その他代替オプションとしての深孔処分に関する知見の調査・整理

○使用済燃料の直接処分に関する研究開発

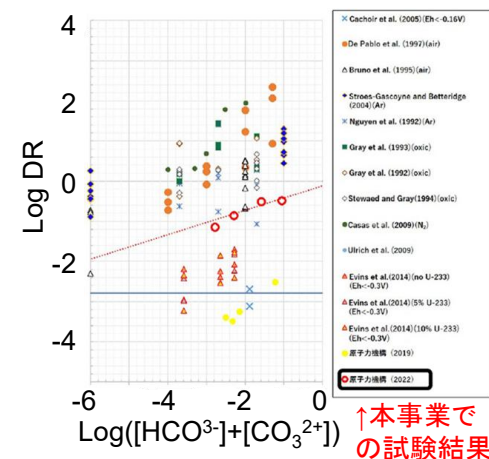
• 使用済燃料からの核種放出挙動評価

評価に使用されるパラメータである瞬時溶出率とマトリクスの長期溶解速度について、試験を行いデータを取得。

- 国内の地下環境で重要な炭酸影響について、長期的な溶解速度が炭酸濃度に依存することを確認（右図）。

• 処分後の臨界安全評価手法の高度化

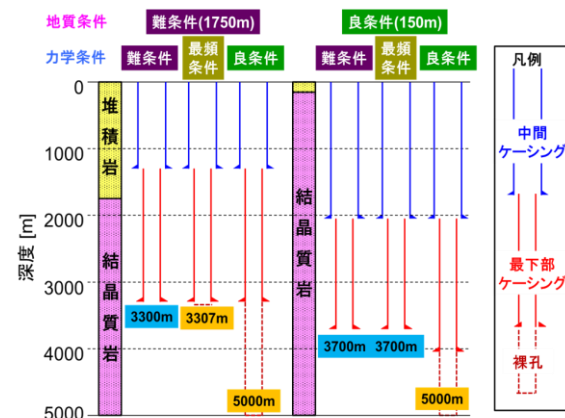
想定される材料の状態変化をモデルに取り入れることで過度な保守性を回避。



○その他代替処分オプションに関する研究開発

- 深孔処分相当深度（数千m）までの掘削、廃棄体の定置、深孔の閉鎖など、HLW地層処分や使用済燃料直接処分とは異なる技術の現状や課題の調査（海外での検討事例等を参照）。

- 深孔処分相当の孔径と深度での掘削等について、実績や知見の不足部分を把握し、掘削可能深度を予察的に推定。



研究開発成果の創出

中長期計画（令和4年度～令和10年度）

- 技術基盤の整備提供、地層処分事業への貢献
- 技術協力/共同研究を通じた最先端技術/知見の取得・提供
- 技術力の強化・人材育成への貢献
- 施設の見学、ウェブサイトの活用による成果情報の公開、国民との相互理解促進

活動の成果（令和4年度～令和6年度）

- 論文投稿等に加え、プレス発表、ウェブサイト活用等による積極的な成果発信
- NUMOとの共同研究を通じた技術の継承
- 大学等との連携・協力による革新的な成果の創出
- 見学者の受入れやイベントを通じた国民との相互理解促進
- 科学的特性マップ作成への貢献、意見交換会への協力

○ 処分事業等に資する成果の創出、成果情報の発信

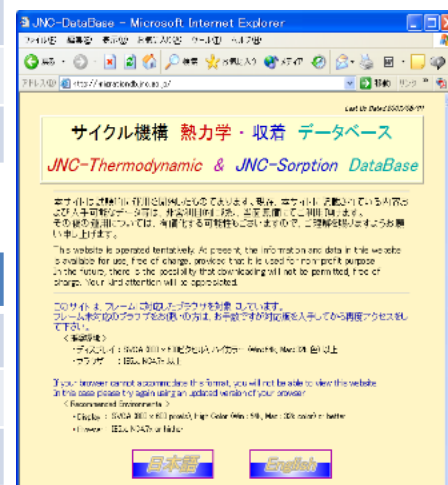
- 研究開発成果の国内外の学会での発表、研究開発報告書類の刊行、論文投稿・掲載。
- 研究成果の一部については、プレス発表を行い、積極的な成果の普及に尽力。

年度	学会発表	報告書類	論文	プレス発表	学会等受賞
R4	104	18	56	3	2
R5	115	13	35	2	2
R6	135	10	39	6	2

- 機構HPで公開・提供している、核種移行に関するデータベースのデータ拡充。

データベース名	件数
オーバーパック	2,073
緩衝材基本特性	2,219
グラウト	203（材料） 215（施工）

データベース名	件数	文献数
熱力学	2,669	
収着分配係数	79,072	852
拡散係数	5,013	286
ガラス溶解	23,288	237



他機関との連携・協力

○ NUMOへの積極的な技術の継承と人材育成

- NUMOとの共同研究の枠組みで、H27年度より、NUMOの技術者を受入れ、機構が保有する施設・設備（東海）を活用して作業を共同で行うことにより、研究開発に関する知識・ノウハウなどを継承。

【受入人数】R4：8名、R5：11名、R6：10名

➤NUMO技術者の現場作業経験の蓄積及び技術力向上に貢献。



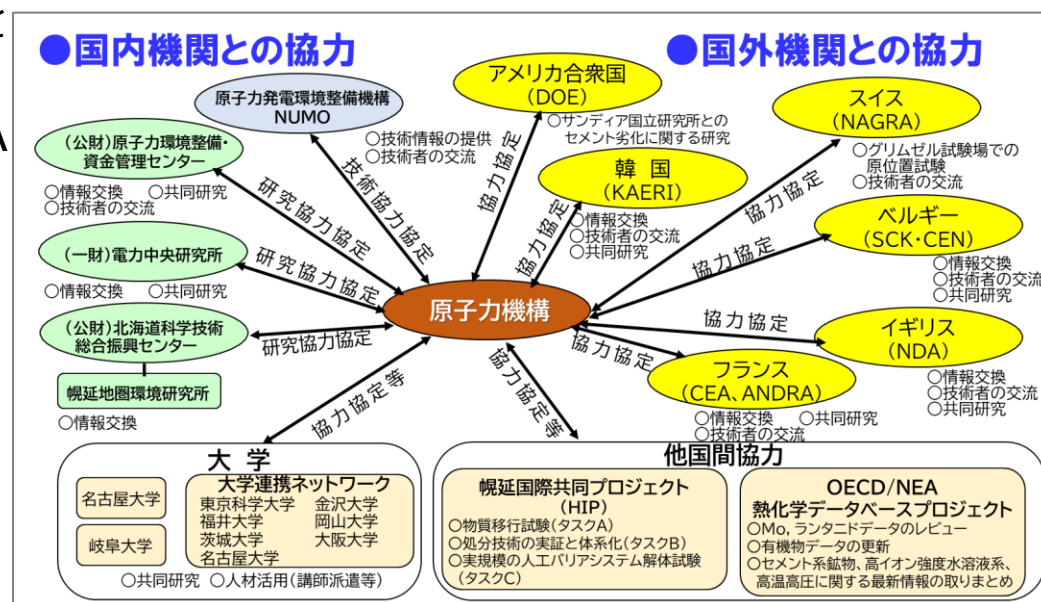
○ 国内外の大学・研究機関等との連携・協力の推進

- 研究資源を有効に活用するために、他の研究開発機関等との共同研究を積極的に進め、研究成果を相互補完的に活用。

- 二国間協力の枠組み（米国DOE、スイスNAGRA等の6か国7機関）や、多国間での国際共同プロジェクト（幌延国際共同プロジェクト、OECE/NEA熱力学データベースプロジェクト、DECOVALEX）を活用し、世界最先端の技術レベルで研究開発を実施するとともに、これら協力・連携を通じて、研究者・技術者の能力向上を実現。

➤効率的かつ効果的な研究開発成果の創出、最大化を実現。

JAEAの施設で実験作業に従事する
NUMO技術者（東海 クオリティ）



国民との相互理解促進



幌延) ゆめ地創館

○ 国民との相互理解促進のための活動の展開

- 施設見学の実施
- イベントを通じた地層処分に関する国民との相互理解促進
子供を含めた一般の方々を対象としたイベントに出展し、科学や機構の業務に興味を持ってもらう活動を実施。

拠点／見学者数	合計	R4	R5	R6
東濃	571	73	258	240
幌延（地下）	2,530	1,429	511	590
幌延（地上）	17,252	4,767	6,479	6,006
核サ	1,108	64	519	525

➤ 広報活動等を通じ、地層処分に関する相互理解を促進。

〔相互理解促進に関する主な活動〕

- 【核サ】「令和4年度地層処分技術に関する研究開発報告会」(R4.9)
「青少年のための科学の祭典全国大会」(R4.7,R5.7,R6.7)
- 【東濃】サイエンスカフェ (16回開催)
東濃地科学センターセミナー (R5.3,R6.2)
JAEA技術サロン (R4.11, R5.2, R5.11, R6.2)
地層科学研究 情報・意見交換会 (R6.2)
土岐市主催「ブック＆サイエンスフェア」(R4.11, R5.9, R6.11)
多治見ビジネスフェア「き」業展に出展 (R5.1, R6.1, R7.1)
瑞浪美濃源氏七夕まつりに出展 (R5.8, R6.8)
- 【幌延】地域の皆様方への説明会・報告会、札幌説明会・報告会
(R4.4,R4.7, R5.4, R5.7, R5.8, R6.4, R6.7: 12回開催)
「おもしろ科学館inほろのべ」(R4.12, R5.7, R6.7)
動画「幌延深地層研究センターってどんなところ？」(R4.4公開)
「マンガで探検 幌延深地層研究センター」制作 (R5.3発行)



核サ) 青少年のための科学の祭典2023全国大会



東濃) サイエンスカフェ



幌延) 令和4年度調査研究成果地域の皆様方への報告会



幌延) マンガで探検 (幌延町との合同企画)

人材育成・総合知への取組

○ 人材育成の取り組み

- ・ 夏期休暇実習生、特別研究生、学生実習生の受け入れ：56名
- ・ 文科省「国際原子力人材育成イニシアティブ事業」
（幌延地下施設での実習：51名、核サ研での核種移行評価実習：17名）
- ・ 韓国ソウル国立大学の学生を対象とした技術研修：22名
- ・ 原環センター主催の「地層処分にに関する人材育成セミナー」へ13名講師派遣
- ・ 日本原子力学会バックエンド部会主催の週末基礎講座にて地層処分研究の概要について講演
- ・ 東京大学専門職大学院や大学連携ネットワークでの講義・実習

➤ 次世代の原子力を担う人材育成ならびに、我が国の地層処分にに関する技術力向上に貢献

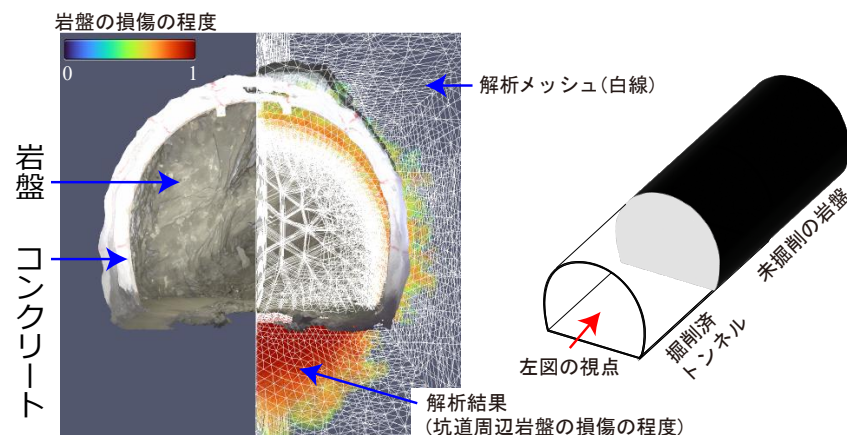
○ 地層処分技術のDX化に向けた取組

- ・ 地下施設のデジタルツイン化に向けた可視化技術の開発
- ・ マルチフィジックスシミュレーション技術の開発

➤ 実際には目に見えない坑道壁面の奥にある岩盤中の掘削損傷領域の広がり、シミュレーション技術を活用し、遠隔地から仮想現実的に把握できることを確認。



国際原子力人材育成イニシアティブ事業での実習（幌延）



地下坑道内の視覚情報と掘削損傷領域の進展解析結果の重ね合わせイメージ
（坑道内の視覚情報：大成建設提供）